

# **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И СКОРОСТИ В КНУДСЕНОВСКОМ ПОТОКЕ ВБЛИЗИ ОТВЕРСТИЯ (МЕТОД ПРЯМОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)**

Куршева А.К. \*, Кузнецов М.А., Породнов Б.Т.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [kurshevanastya@mail.ru](mailto:kurshevanastya@mail.ru)

## **DENSITY AND VELOCITY DISTRIBUTION IN THE KNUDSEN FLOW NEAR THE ORIFICE (DIRECT STATISTICAL MODELING METHOD)**

Kursheva A.K., Kuznetsov M.A., Porodnov B.T.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this research we numerically simulated the gas flow through the ideal apperture using direct simulation Monte-Carlo method. Gas flow features such as density and velocity profiles are investigated.

Определение параметров газового потока, возникающего под действием эффекта термомолекулярной разности давлений в свободномолекулярном и промежуточном режимах, является практически значимой задачей. Решение данной задачи могло бы найти прямое практическое применение при разработке систем охлаждения микропроцессоров, проектировании тепловых труб, а также в микроэлектромеханических системах (MEMS).

Рассмотрим систему, состоящую из перегородки, которая разделяет два объема газа. Слева от перегородки газ характеризуется параметрами  $T_1$ ,  $P_1$ ,  $n_1$ , справа –  $T_2$ ,  $P_2$ ,  $n_2$ . Если в перегородке открыть отверстие радиусом  $R_0$ , молекулы газа начнут перемещаться через отверстие в обоих направлениях. Рассмотрим случай, когда  $P_1 = P_2$ ,  $T_1 > T_2$ . Так как  $T_1 > T_2$ , то и тепловая скорость молекул слева  $v_{11}$  будет больше, чем справа  $v_{12}$ . Возникает поток, вызванный перепадом температуры. Это приводит к увеличению давления справа и возникновению перепада давления, вызывающего в свою очередь обратный поток. С течением времени эти потоки станут равными и система придет в равновесное состояние [1].

Для решения поставленной задачи применяется метод прямого статистического моделирования Монте-Карло без учета межчастичных столкновений [2]. Модель представлена двумя зонами: левой и правой. Обе зоны имеют форму цилиндра. Радиус и длина зоны выбираются таким образом, чтобы влияние стенок на распределение газодинамических параметров вблизи отверстия было минимально.

В начальный момент времени частицы располагаются равномерно по всему объему каждой зоны. При этом числовые плотности в зонах будут различными

исходя из уравнения состояния идеального газа  $P = nkT$ . Начальные скорости частиц выбираются случайным образом в соответствии с распределением Максвелла.

Для получения распределения числовой плотности в системе вводится слой ячеек, расположенный на поверхности, проходящей через центр отверстия. На каждом временном шаге вычисляются значения параметров газового потока в каждой ячейке двумерной сетки. Результаты записываются в файл.

Разработана рабочая программа для расчета макропараметров потока, учитывающая диффузно-зеркальное взаимодействие частиц с поверхностью. При помощи этой программы на начальном этапе работы получены осевое и радиальные распределения числовой плотности внутри системы в различные моменты времени. Исследовано изменение числовой плотности в различных точках системы в зависимости от температуры стенок и размеров системы.

Анализ полученных на первом этапе результатов подтверждает установление стационарного распределения макропараметров потока в системе со временем релаксации. Значения вычисленных параметров потока в пределах расчетной погрешности (1-2%) совпадают с имеющимися теоретическими данными.

Полученные значения соответствуют свободномолекулярному режиму течения. В дальнейшем планируется выполнить данный расчет и в промежуточном режиме.

1. Саксаганский Г.Л., Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах, Атомиздат (1980).
2. Берд Г., Молекулярная газовая динамика, Мир (1981).

## **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**

Якупов Д.Т.\*, Сабиров И.С.

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,  
г. Набережные Челны, Россия

\*E-mail: [yaqup@mail.ru](mailto:yaqup@mail.ru)

## **ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODELLING OF THE WATER GIVING AND DISTRIBUTION PROCESSES**

Yakupov D.T., Sabirov I.S.

Naberezhnye Chelny institute of Kazan federal university, Naberezhnye Chelny, Russia

This article is about benefits of using the artificial intelligence tools in modeling of the water giving and distribution processes.